

自动记录仪

(二)

浙江大学科仪系动仪教研组

1982年7月

第二部分 振子式示波器

第一章 概 论

现代科学技术的发展中，往往涉及许多变化过程的研究，例如：在研究内燃机汽缸中燃料点燃瞬间的压力变化过程，在研究高速飞行中的振动变化情况以及在研究大气电离层中的电流现象。在研究这一类现象时，由于现象的变化速度是如此之快，所以用一般的笔式记录仪进行记录时，由于受记录机构活动部分的转动惯量的限制，因而就不可能正确地进行记录。为此就需要用记录机构转动惯量小的记录仪。振子式示波器利用了光杠杆的放大从而可以大大减小记录机构的惯量，为了提高可以正确进行记录的频率范围。现在一般振子式示波器的记录机构——振动子的固有频率可以做到10000赫~20000赫左右；从而也就可以较精确地记录几千赫的变化过程，若采取特别的校正措施时，可以记录到数百赫的变化过程。

在对复杂过程进行研究时还往往要求对大量的参数同时进行记录，以便找出它们相互之间的关系，典型的例子如在研究飞行时往往需要知道飞行中的各种飞行姿态，各种外界条件以及各种速度时，飞行中各部分的受力，变形和振动等的相互关系，这就往往要求同时进行数十路以至数百路的记录。由于振子式示波器的记录机构可以做得很小，而且又能进行垂直记录，可在同一宽度的记录带上进行各路记录，所以非常方便地组成多路记录仪而其体积变化不大。例如国产SC10型示波器能同时记录10路信号（其中一路为时标），而重量为11公斤，体积为 $160 \times 220 \times 320$ 毫米³。

由于振动子的灵敏度可以做得很高，可达 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-8}$ 毫米/毫米的灵敏度，即当光杠杆的长度为1米时只需0.01~1微安的电流就能得到1毫米的记录幅度，这就使得在许多场合下可以不用前置放大器而直接与被测信号流相联系，使示波器使用大大简化，便于实现小型化和作为携带式仪使用。

振子示波器由于利用了光杠杆放大，可以获得100毫米，以至几百毫米宽的记录幅度，从而有可能得到十分之几的分辨

度，比一般的快速笔式记录仪的分辨率要提高几倍，能满足某些分辨率要求较高的场合的使用。

此外，如使光杠杆作两个相互垂直方向的偏转，则还可以方便地得两个变量之间的关系曲线，如磁带迹线 $B = f(H)$ ，应力—应变曲线等。

由于振子式示波仪有以上种种突出的性能，所以目前在世界各国，在各种科学技术领域中获得了极为广泛的应用，并成为科学研究中非常重要的工具之一。

振子式示波仪的基本工作原理如下：

图 1-1 为记录 $y = f(t)$ 用的示波仪工作原理图。振动的线圈 3 在待记录信号作用下绕轴心 2 转动，其偏转角 φ 与信号大小成比例。在线圈 3 上贴有一面小镜子 1，它将固定的光线 4 反射出去，并将光点按射到记录平面 6 上。当线圈不偏转时光点处在 O 点上，而当线圈偏转时，光点将沿 y 轴方向移动。小镜子 1 到 O 点的距离 l 即为光杠杆的长度。

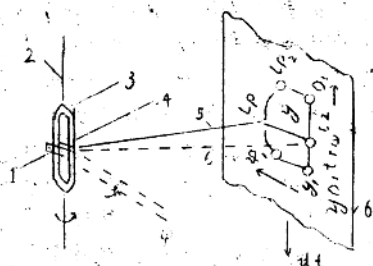


图 1-1

由于振子只有一个自由度，所以光线只能在光杠杆的平面内运动，这样在记录平面不动时将得到一直线。如果记录平面以一匀速作垂直于光杠杆平面运动作为横坐标，即时间坐标，光点的移动方向为纵坐标。在光杠杆时所记录下来的直线 O_1, O_2 称为零线。

如果使光杠杆在横坐标方向亦能偏转，则就能得到 $x - y$ 的坐标记录了。在图 1-2 上表示了 $x - y$ 坐标的记录振子示波仪的原理图。此时记录平面不动，在小镜子 1 反射出来的光线进程中安置了另一可转动的反射镜，其轴心与小镜

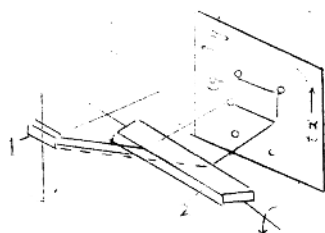


图 1-2

子 1 的轴心相垂直。如
将待记录量 X 用来控制
钳子 1 的转动, 则在记
录平面上将能得到

$$y = f(X) \text{ 的曲线。}$$

振子式示波口是用
光学方法进行记录的,
即用光线来显示记录波
形的, 因此有的称它为
光线示波口。振子式示
波口的记录方法有好几
种, 最普通的方法是用

平常的白炽灯做光源, 依号波形记录在一般的胶卷或照像底
光纸上, 然后在暗室中进行显、定形处理。例如国产 SC1 型八
线示波口是用 35 毫米宽的胶卷记录, 这种方法价格便宜, 但不
能直接看到记录结果, 往往会造成试验研究的返工和浪费大量
时间与费用。另一种方法是白炽光直接记录即用一种特殊的底
光纸, 在高效能白炽灯的照射下形成潜影, 然后在交叉灯或望
远光下进行二次曝光后即显示出记录波形。如国产 SC9 型天线
示波口, SC14 型十线 (或十五线) 示波口和日本产的 PR—
101 型天线示波口, 再一种方法是紫外线直接记录它用含有丰
富紫外线的超高压水银灯作光源, 用有特种银盐乳剂涂布的紫
外线感光纸作记录纸, 和白炽光直接记录一样, 这种纸在高压
水银灯的照射下留下的潜影能在室内光下二次曝光, 显示出记
录波形, 如国产的 SC14, SC20, SC16, SC60 等型号,
日本横河厂生产的 2901, 2902, 2915 型, 共和厂生产的
RMV—33 型及英国生产的 SE2005 型十二线示波口。

光线示波口种类很多, 若按振子与磁系统的结构则分为
单独式光线示波口和共磁式光线示波口二种, 前者的振子与磁
系统是一个单独的组件; 后者的振子是插在一组公共的磁系
统中, 即振子中只有可动的线圈部分, 而磁系统为许多振动
子所公用。

一、振子式示波口主要由三部分组成:

1、产生光栅的光学系统；2、将电号变成光栅偏转的记录结构——振动物；3、实现记录带按一定速度定向运动等动能的传动系统；4、电气系统；5、磁系统；6、时间指示器；7、其它一些附属设备。

第二章 振动物示波器的结构

振动物示波器是利用光学、电学、磁学以及机械学等多种学科知识制成的一种记录仪器。本章将重点介绍振动物示波器的光学系统、传动系统、磁系统和电气系统及其它一些附属设备。由于振动物示波器的心脏，所以在后面单独设置一章进行介绍。

第一节 光学系统

一般振动物示波器的光学系统由光源、光栅、各种透镜和反射镜组成。下面以国产 SC-20 型示波器的光学系统为例来说明。如图 2—1 所示。

一、振动物和分格线的光学系统

由超高压水银灯 1 产生的光线分成两条光路，一路（称主光路）经过亮度调节光栅 2、聚光镜 3、反射镜 4，在振动物 5 的小镜前形成一条狭长的亮度很强的光带；光线经过振动物

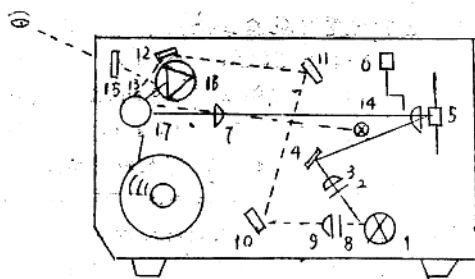


图 2—1 SC-20 型示波器的光学系统

- 1: 超高压水银灯; 2: 调节光栅;
 3: 聚光镜; 4: 反射镜; 5: 振动物
 6: 光线开关; 7: 柱面镜; 8: 分格线调节光栅.
 9: 格子光栅; 10、11、12: 反射镜;
 13: 格子光栅; 14: 调节光栅; 15: 观察窗;
 16: 三棱镜; 17: 记录纸。

小镜的反射, 以及柱面镜 7 聚焦后落在记录纸 17 上, 成为一个明亮的光点。除有显光剂的记录纸, 经显光后留下一个潜像, 再经二次曝光 (紫外线显光或白炽光直接记录) 后, 记录光点的像便显示出来。

另一路光线, 通过分格线调节光栅 8 和聚光镜 9, 以及反射镜 10、11、12, 最后经过格子光栅 13, 在记录纸 17 上留下间隔相等的分格线潜影, 同样, 经过二次曝光即显示出连续的分格纸线。

尽管光线示波器的种类很多, 但其光学系统的主光路基本上都是一样的, 不同的只不过是结构形状, 光路经过的途径, 所用的聚光镜和反光镜数目和设置位置有所差别而已。

二. 观察窗光学系统

为操作者方便, 示波图中设有观察如图 2—1 中 15 所示, 用来直接观察光点在记录纸上移动的幅度大小。有些示波图还没有可以转动的三棱镜 16, 作为扫描机构, 以便从观察窗用肉眼观察到记录波形的虚像。

图 2—1 中的光线开关 6, 用来遮挡在测量记录过程中不需要的振动物光点。

在振子示波图中, 采用光杠杆方式实现记录的, 因此光路的聚焦是一个比较关键的问题, 它直接影响记录的质量, 下面介绍一下运用光杠杆放大记录法中光线进行的路程及有关透镜焦距的计算方法。

图 2—2 是图 2—1 简化后的光路展开图, a 为水平方向展开图, b 为垂直方向展开图。图上的透镜 L (水平图用来聚

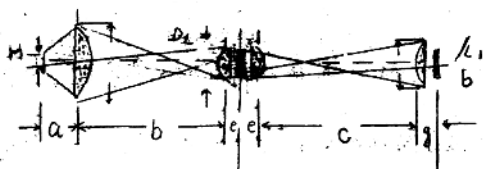
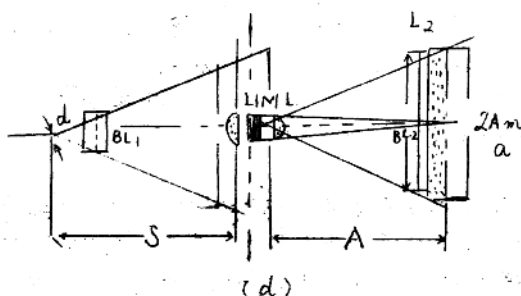


图 2 — 2

直径为 d 的灯丝，在记录纸上成直径为 d_1 的光点。圆柱形透镜 L_1 起聚光镜的作用，它在垂直方向起聚焦的作用，在水平方向没有作用，其主要目的是把长为 H 的灯丝（或将灯泡前的光镜）聚焦在小灯面上，增加灯面的照度。圆柱形透镜的目的是将灯面反射出来的像聚焦在记录纸上。

一般透镜 L 尽量靠近灯面，因此透镜与灯面的距离 e 和光杠杆的长度 A ， S 相比可以忽略。由于光线两次通过透镜 L ，所以透镜焦距 f_L 应为合成焦距 f 的一倍，当 A 和 S 确定后，可根据下式确定 f_L ：

$$f_L = 2f = 2 \left\{ \frac{(A+e)(S+e)}{(A+e)(S+e)} \right\} \approx 2 \frac{AS}{A+S}$$

透镜的直径 D_L 与记录上的最大振幅 A_m 有关，如果灯面很小而可以看作一个点时，则 D_L 应满足下列不等式：

$$\frac{D_L}{2Anu} \geq \frac{e}{A+e} \quad \text{或} \quad D_L \geq \frac{2eAnu}{A+e}$$

此外，由于透射的直径也限制了照射小斜光线的高度，所以它也应该保持下列条件：

$$D_L > H_1 > h$$

其中 H_1 为灯丝通过透射 L_1 投射到斜面的高度， h 为小斜的高度。

透射 L_1 的焦距 f_{L1} 可以从下式中确定：

$$f_{L1} = \frac{a(b+e)}{a+b+e} = a - \frac{a^2}{s+e}$$

式中 $b = s - a$ ， s 和 e 如上所述，已经确定，因此 a 确定后， f_{L1} 也就确定了。

透射 L_1 主要是将长 H 的灯丝聚焦在斜面上，如果希望聚焦在斜面上的灯丝象高 H_1 ，则透射 L_1 的放大率为：

$$V_{L1} = \frac{H_1}{H} = \frac{b+e}{a}$$

或

$$a = \frac{s+e}{1+V_{L1}} = \frac{H(s+e)}{H_1+H}$$

从图 2-2 b 上看到，透射 L_1 的高度 D_{L1} 应满足下列式子。

$$D_{L1} \geq D_{L2} \frac{b}{c}$$

式中 D_{L2} 是圆矩形透射 L_2 的高度，为了增强记录纸上的照亮度， D_{L2} 一般取 5—3 毫米。

原则上讲，透射 L_1 的高度愈大愈好，因为这样可以有较多的光通量照射到斜面上去。

用一个照明灯同时照射几个板子的斜面时，透射 L_1 的宽度 B_{L1} 应满足下列等式：

$$B_{L1} = \frac{ab}{s+e}$$

式中 B 是板与斜面的宽度。

圆矩形透射 L_2 的焦距 f_{L2} ，可以从下列中确定：

$$f_{L2} = \frac{g(c+e)}{g+c+e} = g - \frac{g^2}{A+e}$$

式中 $C = A - g$, A 和 e 已经确定, 因此确定 g 后, 即能确定 f_{L2} 。

圆柱形透镜 L_2 的目的是将斜面上反射的光线聚焦在记录纸上。如果斜面的高度为 h , 希望记录纸上光点的高度缩小为 h_1 , 则圆柱透镜的放大率为:

$$M_{L2} = \frac{h_1}{h} = \frac{g}{c+e}$$

$$g = \frac{(c+A) M_{L2}}{1 + M_{L2}} = \frac{h(A+e)}{h_1 + h}$$

圆柱形透镜的长度 BL_2 可以根据下式确定:

$$BL_2 = \frac{2A M_{L2} (c+e)}{A+e}$$

在实际情况中, 由于照相记录纸颗粒性的限制, h_1 有一定的极限, 因此常常是先给出 g 后再根据:

$$h = h_1 \frac{e+c}{g}$$

来求斜面应具有的高度。

如果不考虑衍射现象, 则利用上述方法所得光点直径 d_1 和高度 h_1 分别为:

$$d_1 = \frac{dA}{S}$$

$$h_1 = \frac{hg}{e+c}$$

式中 d 为灯丝的直径。 d 和 h 由于照明度的关系, 有一定的限度, 不能太小, 所以 S 比 A 愈大 ($e+c$) 比 g 愈大, 则得到的光点愈细。

在有些示波图中, 为了要得到较细的光点, 采用几个透镜组合的聚合透镜。

第二节

传动系统

振子式示波仪传动系统的主要作用是使记录带按一定速度作定向运动，其主要组成部分有电动机，变速箱，拍摄机构，送长机构，曲线分辨机构，传动带和收卷机构等，如图 2—3 所示。

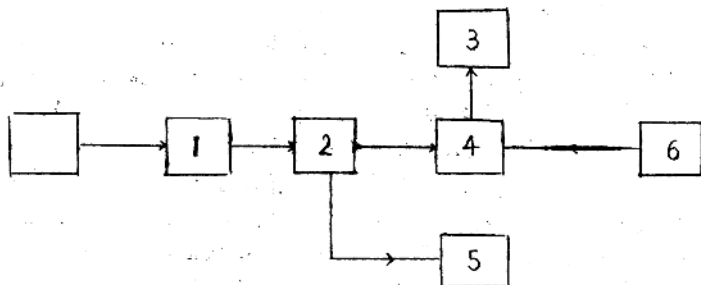


图 2—3

传动系统方框图

- | | |
|--------------|--------------|
| 1 —— 电动机； | 2 —— 变速箱； |
| 3 —— 曲线分辨机构； | 4 —— 拍摄机构； |
| 5 —— 收卷机构； | 6 —— 送长定长机构。 |

电动机 1 为传动系统的动力源，它带动一个用电磁弹簧离合控制的变速箱 2，转速经过变速箱变速后，驱动拍摄机构 4，记录带在拍摄机构的作用下，按送定的速度将记录带由出口处送出。

有的振子式示波仪还有自动收卷机构 5，它能将拍摄机构中送出的记录带按与记录带相适应的速度自动地接收起来，这时送长或时间较长的记录是很方便的。

光线示波仪使用的电动机主要有直流电动机、交流异步或

交流同步电动机。使用交流电源供电的示波口，一般多用交流同步电动机，其优点是转速较定，过渡时间短，使用直流电源供电的示波口，多用永磁式直流电动机，其优点是要速范围广，加速性能好，但转速较定性差。为了使转速较定，在一些先进的示波口中，采用了直流电动机——电子伺服恒速系统，其带速误差可降低到 $\pm 2\%$ 。而一般同步电动机或永磁式直流电动机，其带速误差达 $\pm 5\%$ 。表2——1列出几种国产示波口所使用的电动机性能。

示波口的测号频率范围是非常宽的，一般在几赫到几千赫左右，因此，其低速也必须与测号频率相适应，如从一毫米/秒计称时低速需从几毫米/秒到几十毫米/秒间改变。改变记录带速度的部件是齿轮箱，它有两类：

1. 用手切换齿轮或用微钮改变齿轮的位置，改变速度时，一般要将电动机完全停止后进行，所以，这种方法很不方便。如 SC1 型示波口就是用两个微钮来改变低速的。

2. 用电磁离合器及弹簧离合器来控制齿轮传动，在工作过程中能改变低速，一般用按钮开关（电气或机械动作）操作方便。

上述两种变速方法调速不是连续的，若要达到连续调速可采用电机的直接变速。

现从 Oscillogrand 型示波口为例作一说明。它的记录带由两只装在同一轴上的电动机通过变速箱来传动。这两只电机中，一只直流电机，一只交流同步电机。用直流电机传动时，用粗细调节的方法可以得到 1200 到 6000 转/分的同向连续可调的速度。用同步电动机时得 3000 转/分的同步速度。在变速箱中用四只快速电磁离合器可以得 1:4:16:64 的四档速度。用四只电磁离合器得到四档变速箱原理图，图 2

——4 所示。图中轴 1 与电动机直接连接，而轴 2 和轴 3 的转动要通过电磁离合器的作用才能得到转动，并将转动运动传到两根输出轴 4 和 6 去，这两根轴将分别带动传动带轮和卷带筒。在轴 2 和轴 3 之间的各对齿轮都以同样 1:4 的减速比转动，当离合器 K₁ 作用时取出转速为 n ，则当离合器 K₂ 作用时，取出转速为 $n/4$ ；K₃ 作用时为 $(n/4)^2$ 和 K₄ 作用时为 $(n/4)^3$ 。

表 2—1 国产振子示波器的电机型号

示波 器 型 号	电机型号、名称	转速 (转/分)	转矩 (克·厘米)	功率 (瓦)	供电	制造厂
SC1	FR4				~220V 50Hz	上海电表厂
SC9	ZY03-9W 永磁直流电机	7000		9	-24	上海微型电机厂
SC10	ZY04 永磁直流电机		400	5	-24V	"
SC11	ZW40/90-24	900			-24V	"
SC16	Jx 0522	2850		25	~220V 50Hz	"
SC17	ZY03-9W	7000	200	9	-24V	"
SC18	Jx 0.532			40	~220V 50Hz	"
SC19	ZY13-9W	2000				
SC60	90TZ-50 同步电动机	3000	1500	60	~220 50Hz	南京微型电机厂

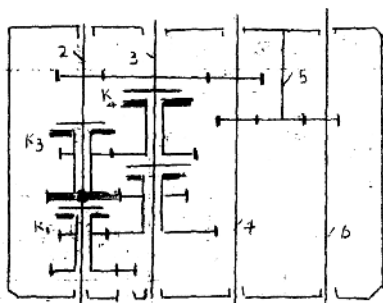


图 2-4

这种结构由于采用电液离合器 and 直流电机调速，因此，即使在工作过程中也能变速，采用按钮控制，操作十分方便。这种结构中所有的齿轮都是经常啮合的，所以可以采用斜齿轮，从而降低齿轮箱的噪音。

在EMO—1型示波口中采用了弹簧式离合器，其工作原

理以图 2-5 为例作一说明，此图表示一对快切速传动时采用弹簧离合器的情况。在取出轴的两端装有两个轴套，这两个轴套经常以快速和快切转动。在图上的结构中左轴套以快速转动，右轴套以低速转动。在轴套与取出轴之间是空套的，它们通过两只带有公盈的弹簧发生联系，两弹簧的螺旋方向如图所示是不同的。左面一个弹簧的左端是固定在一空套在轴套和取出轴的套筒上。如果现在套筒被固定不能转动，则当左右轴套以图上所示箭头方向转动时，右边的弹簧将被愈拉愈紧，使取出轴跟随低速轴套转动，而左边的弹簧由于一端被固定，另一端受到使其转动的摩擦力作用，所以快速转动不能通过它传到取出轴，于是取出轴以低速转动，现将套筒松开，则套筒将与快速轴套一起转动，从而使左面的弹簧愈拉愈紧，带动取出轴以快速转动。右边的弹簧在取出轴的快速转动的作用下被松开，快速转动被脱开，于是取出轴以快速转动。

套筒的固定及释放是由一电磁吸铁来控制的。当电磁吸铁上的制动齿插入套筒上的齿盘的齿中时，套筒被固定。当电磁吸铁通，制动齿与齿盘脱离，套筒即能自由转动。所以为了控制一挡快，切速需要一个电磁吸铁。

在EMO—1型示波口中记录纸的转动速度为12档：2.5，5，10，25，50，100 厘米/分和2.5，5，10，25，100 厘米/秒。

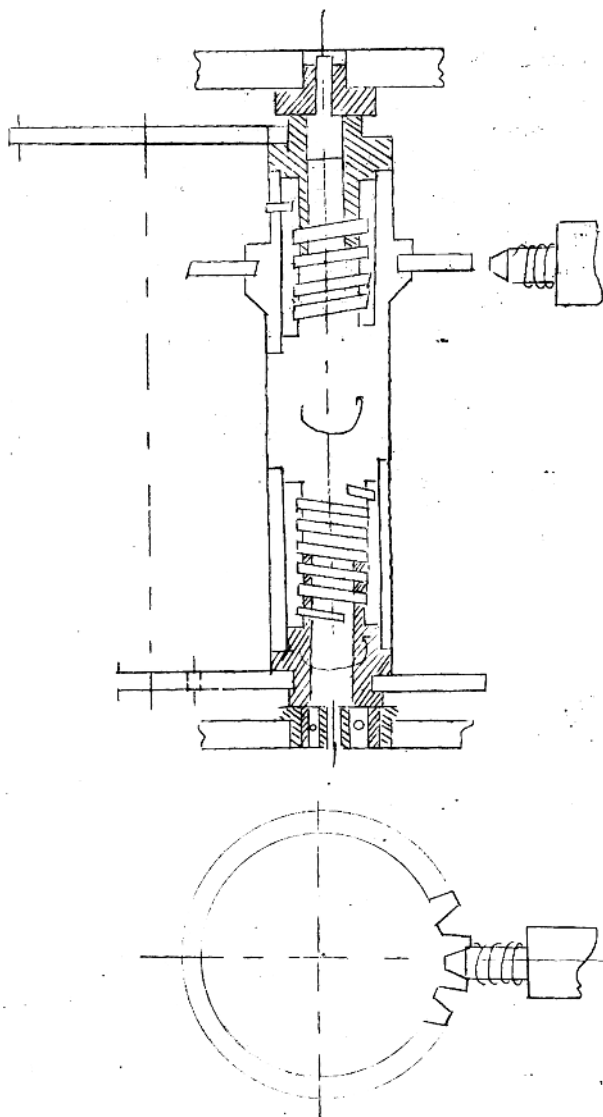


图 2—5
速度 调 换 方 式

由上述数字可见厘米/秒和厘米/分的数值是相同的，所以用两个按钮来控制厘米/秒和厘米/分，另外六个按钮分别控制六种不同的数值。

在图 2—6 上表示上述传动比的变速箱的传动图。

在第一轴和第二轴之间有两档速度，用一只电磁吸铁 A 控制，在轴 3 和轴 4 之间有三档速度需要用两只电磁吸铁 B 和 C 来控制，其结构基本上与图 2—4 所示相同，只是高速下分有两档传动：按上变速，在第 4 轴就能得到上述的 $2 \times 3 = 6$ 档不同的数值。在第 4 轴和第 5 轴之间可以有两档速度，其中

电磁吸铁		A	B	C	D	时 标
速度						
2.5	厘米/分					10
5	"			0		10
10	"		0			1
25	"	0				1
50	"	0		0		1
100	"	0	0			0.1
2.5	厘米/秒				0	0.1
5	"			0	0	0.1
10	"		0		0	0.01
25	"	0			0	0.01
50	"	0		0	0	0.01
100	"	0	0		0	0.01

一档速度是通过行星差动齿轮的传动，使得这两档速度之比为 1:60，即使实现厘米/秒和厘米/分的变速，速度的选择采用第 5 轴上的弹簧离合器由电磁吸铁 D 来控制的，所以控制 12 档速度用 4 个电磁铁，各档速度的电磁吸铁的动作如上表所示。记录纸移动速度和时标之间应保证有表中所示的关系进行联动，才能使记录有效清晰的时标。

变速 p 分钟的按钮控制线 如图 2—7 所示。

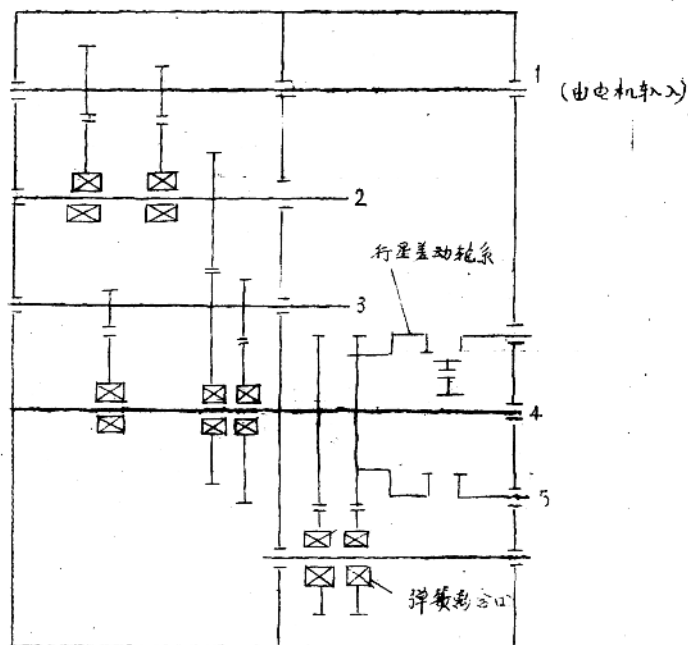


图 2 — 6

变速箱齿轮系统图

示波图中的曲线分辨装置 3 (见图 2—3), 由记录带传动机构至轴带动, 其皮带上装有两个用来遮光的小棒, 如图 2—8 所示, 拍摄机构工作时, 带动分辨轴及带转动, 皮带上的小棒投射到板子小斜上的光线依次在一定间隔内受到一次很短时间的遮挡, 这样记录带上的记录曲线就将按以顺序产生一小缺口, 以使用未分辨曲线的位置, 这一装置对于从记录曲线中分辨曲线要动的位量是很有用处的。

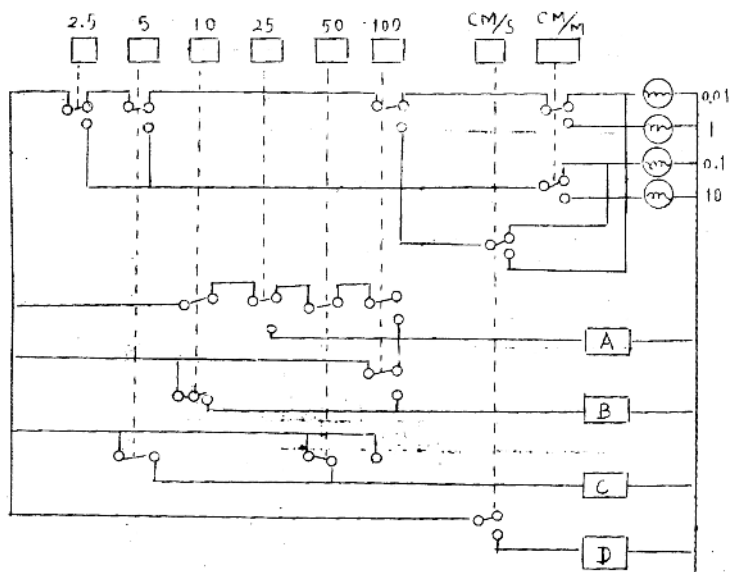


图 2-7

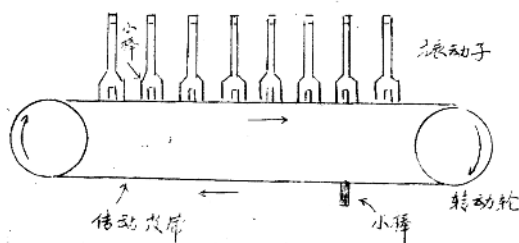


图 2-8

曲线分辨率装置示意图